



НАУКА И ЖИЗНЬ

ISSN 0028-1263

I

2023

● Современная циклическая космология.

Револуция в науке?

● Озеро Байкал — эльдорадо для учёных, особенно для биологов

● С. А. Тихоцкий, член-корреспондент РАН: Создание отечественного геофизического оборудования и программного обеспечения — задача номер один

● Да будет свет! Тем или иным способом.



В Н О М Е Р Е :

Н. ГОРЬКАВЫЙ — Цикличность Большого взрыва	2
А. ПОНЯТОВ, канд. физ.-мат. наук — Революция или нет?	11
Рефераты (подготовил Л. Ашкинази)	14
Десять значимых событий 2022 года в биологии и медицине (материал подготовил К. Стасевич)	16
О чём пишут научно-популярные журналы мира	28
С. ТИХОЦКИЙ, чл.-корр. РАН — Геофизика: новые задачи и возможности (записала Н. Лескова)	34
Бюро иностранной научно-технической информации	46
М. ТИМОФЕЕВ, докт. биол. наук — Неизведанный Байкал (беседу ведёт Н. Лескова)	50

Специфика экосистемы озера заключается в том, что в этой огромной толще воды есть две неравные зоны. Первая — так называемая фотическая зона, туда проникает свет, благодаря чему происходит цветение мельчайших водорослей и высших водных растений, образуется первое органическое вещество — так называемая первичная продукция. В этой зоне обитает множество организмов, питание которых завязано на эту первичную продукцию. Глубина её максимум 40–50 метров.

Если же мы пойдём глубже, то попадаем в зону сумрака и далее в зону полной тьмы. Это вторая зона — афотическая, куда свет не проникает...

Вести из лабораторий

Плавник как оптическое окно (65). Позднее отцовство может влиять на здоровье детей (66).	
В. ФЁДОРОВ, канд. геогр. наук — Солнце меняет климат	68
Л. АШКИНАЗИ, Н. СЯНОВА — Что видим? Нечто странное! Защита от... ..	80, 130

«УМА ПАЛАТА»

Познавательный-развивающий раздел для школьников

А. СДОБИНА — Прогулка вокруг марсианских вулканов (81). М. АБАЕВ, канд. хим. наук — Стекло под ногами, или Как дневной свет попал в подвал (89).

Наука и жизнь сто лет назад	95
В. МАКСИМОВ, канд. филол. наук — Из истории фамилий	96
Н. ЕСИПОВИЧ — В траве сидел кузнечик... певчий	100
И. СОКОЛЬСКИЙ, канд. фармацевт. наук — Битый, дутый, воздушный	107
Кунсткамера	110
А. ПЕРВУШИН — Наука о чужих. Жизнь и разум во Вселенной. I. Братья по разуму	112
Маленькие хитрости	126
Ответы на кроссворд с фрагментами	127
Кроссворд с фрагментами	128
А. СТОЛЯРОВ — Продам конец света (фантастическая повесть, начало)	132
Ю. ФРОЛОВ — Ходячие уличные фонари	142

НА ОБЛОЖКЕ:

1-я стр. — Эндемики Байкала — рачки амфиподы *Parapallasea borowskii* в процессе спаривания. Жизнь продолжается! Фото Ксении Верещагиной, НИИ биологии Иркутского государственного университета. (См. статью на стр. 50.)

Внизу: Для оценки сейсмических рисков важны данные о палеоземлетрясениях, происходивших в глубокой древности. Такие данные получают в ходе полевых исследований геологических структур и затем на их основе проводят реконструкцию напряжений в земной коре. На фото — исследования в долине реки Чуя на Алтае. Фото представлено ИФЗ РАН. (См. статью на стр. 34.)



НАУКА И ЖИЗНЬ®

№ 1

Я Н В А Р Ь

2023

Журнал основан в 1890 году.
Издание возобновлено в октябре 1934 года.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЙ ЖУРНАЛ

Фото Андрея Лисинского
из серии «Белые этюды».



НЕИЗВЕДАННЫЙ БАЙКАЛ

Доктор биологических наук Максим ТИМОФЕЕВ,
директор Научно-исследовательского института биологии
Иркутского государственного университета.
Беседу ведёт Наталия Лескова.

— Максим Анатольевич, всем известно, что Байкал — самый большой пресноводный водоём в мире, что там самая чистая вода и он самый глубокий. Но есть ли какие-то факты, о которых мало кто знает?

— Практически все вопросы, которые касаются уникальности озера Байкал, для биологов связаны с процессами эволюционной адаптации множества эндемиков. Как мы сейчас знаем, флора и фауна Байкала насчитывают более двух с половиной тысяч видов и подвидов животных, более тысячи растений, и это не считая множества микроорганизмов.

Но на самом деле, всё, что мы знаем о Байкале, это самая верхушка айсберга.

Технологии гидробиологических исследований, которые доступны современному человечеству, позволяют нам дотянуться лишь до верхних отделов байкальского дна — литорали (мелководья) и сублиторали.

Например, обычный водолаз-исследователь может нырнуть на глубину не больше 40—50 метров. Есть, конечно, автономные дроны, батискафы, подводные лодки. Но и их возможности для изучения даже нижних отделов сублиторали очень сильно ограничены. Биологи не могут просто взять и эффективно обловить интересные участки дна на больших глубинах.

— При этом глубина Байкала, насколько я знаю, 1600 метров...

— Если быть точным, 1642 метра. Думаю, он ещё глубже, ведь эта глубина постоянно увеличивается. Байкал — рифтовое озеро, по сути, трещина в земной коре, заполненная водой. И главная особенность байкальского рифта в том, что эта трещина постоянно растёт: как в длину и ширину, так и в глубину. Растёт, по разным оценкам, со скоростью от 0,5 до 1 см в год.

Так вот, если мы посмотрим на всю глубину озера и сравним с теми зонами, что наиболее доступны для научных исследований (в основном глубины до 30—50 метров), то становится ясным, что подавляющая часть дна озера у нас остаётся вообще неизученной. Это примерно 99% дна всего Байкала. Что там происходит и кто там обитает, мы знаем очень приблизительно.

— Разве вы не ловите иногда глубоководных обитателей?

— Конечно же, иногда ловим — в ловушку кто-то заплыл, в сеть попал. Ловушку можно поставить на любую глубину, но в неё заплывает только очень ограниченное

количество видов, которые к тому же часто съедают друг друга, так что до исследователей доходят буквально ножки да рожки, фрагменты этих донных обитателей.

Плоские участки дна можно отработать донным тралом. Но трал хорошо собирает материал только с мягких грунтов, да ещё и оставляет за собой полосу разрушенного дна. О каких-либо массовых сборах в батиалях (зоне больших глубин) вообще речи не идёт. Кроме того, в Байкале есть территории, которые в принципе недоступны человеку, причём они ещё более недоступны, чем, к примеру, Марс или Венера.

Как я уже отметил, Байкал — это такая трещина в земной коре. Стены этой трещины на значительном протяжении представляют собой почти вертикальные обрывы — свалы, длящиеся сотни метров. И эти подводные обрывы испещрены выступами, расщелинами и пещерами, в которых совершенно точно кто-то должен обитать. Но как к ним подобраться?

Если на тот же условный Марс можно запустить исследовательский модуль, то в случае с глубинными пещерными системами Байкала это не получится. Технологий, которые позволят проникать в глубоководные пещеры и скрытые трещины, пока ещё в принципе не существует. А сколько таких недоступных человечеству подводных ландшафтов в Байкале — сот-



Максим Анатольевич Тимофеев.

Научный корабль
НИИ биологии ИГУ
«Профессор Михаил
Кожов».



Подъём донной драги и выгрузка «улова».



ни, тысячи или даже сотни тысяч? И там обязательно кто-то живёт.

— **Получается, что исследователей байкальской фауны ожидают ещё много новых открытий?**

— Безусловно. В Байкале идёт очень интенсивный эволюционный процесс, так называемое взрывное видообразование в некоторых группах видов. Даже среди тех 2,5 тысяч видов животных, что уже сейчас описаны наукой, учёные постоянно находят сюрпризы. Буквально недавно мы опубликовали статью*, посвящённую одному из очень распространённых видов байкальских рачков — зулимногаммарусу бородавчатому (*Eulimnogammarus verrucosus*). Этого рачка может найти любой человек, оказавшийся на берегу Байкала, практически в любой точке побережья. Стоит только приподнять какой-нибудь крупный камень со дна, как из-под него во все стороны расползутся

* Drozdova P., Saranchina A., Madyarova E., Gurkov A., Timofeyev M. Experimental Crossing Confirms Reproductive Isolation between Cryptic Species within *Eulimnogammarus verrucosus* (Crustacea: Amphipoda) from Lake Baikal. Int. J. Mol. Sci. 2022, 23, 10858.



Специалисты Института биологии проводят сбор поверхностных проб на загрязнение микропластиком.

довольно крупные зелёные рачки, похожие на креветок.

— **Креветки на Байкале?**

— Это, конечно, никакие не креветки, хотя и родственные группы высших раков. Так вот, мы обнаружили, что «самый обычный» на Байкале и давно изучаемый вид рачков представляет собой несколько разных видов, которые раздельно обитают в разных географических районах озера.

Сначала молекулярно-генетическими исследованиями мы показали, что у этих рачков есть три так называемых криптических вида: морфологически, то есть внешне, они ничем не различимы, но по своим генетическим характеристикам разошлись примерно сотни тысяч или даже миллионы лет назад. Но самое главное, мы смогли экспериментально доказать, что они не скрещиваются между собой. А невозможность скрещивания, невозможность получить плодовитое потомство — как раз и есть прямое подтверждение факта межвидовых различий.

И это мы провели исследование только одного, наиболее часто встречаемого рачка, того, что буквально у всех под ногами. А сколько же других, редких видов ещё не описано и не открыто! Можно с уверенностью говорить, что Байкал — это эльдорадо для учёных, особенно для биологов.

— **Насколько я поняла, байкальские рачки — ваш основной объект исследования?**



Выгрузка пробы воды для дальнейшего анализа на микропластик в лаборатории.



Многие виды рачков, обитающих в Байкале, больше нигде не встречаются.
На фото — некоторые из них.



Глубоководный рачок омматогаммарус жёлтый (*Ommatogammarus flavus*).



Глубоководный рачок Гаряевия (*Garajewia sibirica*).



Эулимногаммарус кроваво-красный (*Eulimnogammarus cruentus*).



Акантогаммарус Годлевского (*Acanthogammarus godlewskii*).



Эулимногаммарус Маака (*Eulimnogammarus maackii*).



Brandtia latissima — обитатель каменистого дна.



Эулимногаммарус мариуты (*Eulimnogammarus maritujii*).



Эулимногаммарус бородавчатый (*Eulimnogammarus verrucosus*).



Парапалласея Боровского (*Parapallasea borowskii*).



Сильные байкальские ветры сдувают снег с поверхности льда, поэтому даже зимой в подлёдное пространство проникает много света.

— Да, в основном мы работаем с рачками амфиподами, хотя и не ограничиваемся ими. Но даже в уникальном Байкале амфиподы — самые уникальные организмы. Амфиподы (Amphipoda) — крупнейшая по численности видов группа в озере, сейчас описано уже более 350 эндемичных видов, они составляют почти десятую часть всей фауны Байкала.

Байкальские амфиподы чрезвычайно разнообразны: расцветкой, формой тела, размерами — от карликовых в несколько миллиметров до гигантов, размеры которых до десяти сантиметров и более. Среди амфипод встречаются как виды очень чувствительные к малейшему стрессу (будь то температурные колебания или загрязнения), так и, наоборот, виды удивительно устойчивые, выживающие в самых экстремальных средах, например в горячих источниках.

Для нас как исследователей эта группа с её огромным внутренним многообразием видов и адаптаций представляет единственную в своём роде модельную систему. Это научный инструмент, благодаря которому можно изучать множество тем — от движущих факторов эволюции и видообразования до частных механизмов стресс-адаптации и резистентности.

— Но почему в Байкале такое огромное биологическое разнообразие?

— На самом деле никто точно не знает. Выходим за пределы Байкала — в любом озере по всей России тех же рачков ам-



Разбор образцов эндемичных байкальских губок на экспедиционном судне.



Сбор образцов фито- и зоопланктона планктонной сетью.





Наиболее доступна для исследований литораль, где можно отбирать образцы обычным гидробиологическим сачком.

Ещё одна особенность Байкала в том, что, в отличие от большинства водоёмов, в нём есть два пика цветения фитопланктона — летний и зимний. Фитопланктон — это мельчайшие водоросли, которые лежат в основе экосистемы, они образуют первичное органическое вещество плюс активно фотосинтезируют и насыщают воду кислородом. Так вот, во всех водоёмах наблюдается только летний пик цветения планктона. Зимой же, когда водоёмы покрыты льдом и засыпаны снегом, фитопланктон не развивается, наступает гипоксия, падение уровня кислорода, вызывающее метаболическую депрессию у подлёдных обитателей.

В Байкале благодаря очень чистой воде образуется прозрачный лёд, а из-за сильных ветров на нём нет толстого снежного покрова, и зимой через этот лёд прекрасно проникает свет. Фитопланктон активно развивается, насыщает воду кислородом, а сам становится пищей для подлёдных обитателей. Соответственно, цикл жизни

Благодаря прозрачности воды свет проникает на большую глубину, создавая иллюзию того, что камни находятся на расстоянии вытянутой руки. На самом деле под кораблём больше 10 метров.

в Байкале не прерывается ни летом, ни зимой.

— То есть жизнь в Байкале бурлит даже в холодное время года, подо льдом?

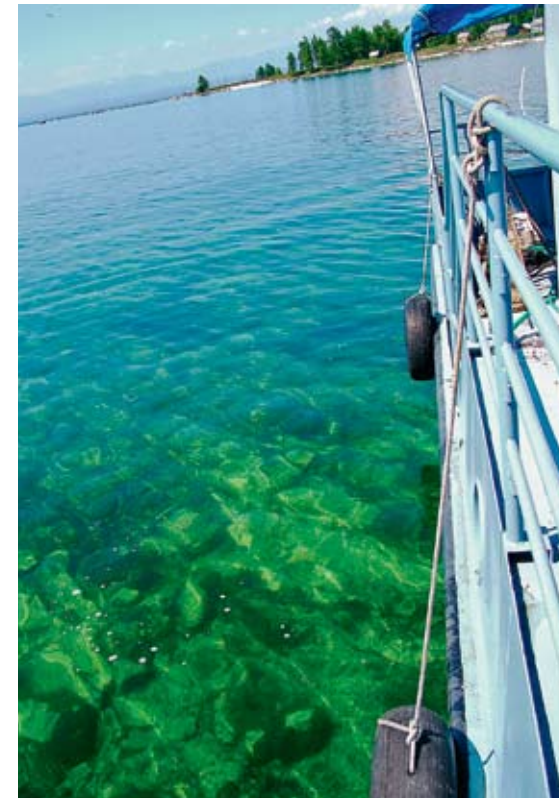
— Совершенно верно, огромное количество организмов, питающихся этим фитопланктоном, живут подо льдом. У них свои адаптации, ведь в подлёдном слое температура приближена к нулю. Но именно там и концентрируются водоросли, причём некоторые водоросли развиваются прямо на нижней корке льда, и есть животные, которые там ползают и соскребают эту «еду».

Уникальный момент состоит в том, что в период, когда на Байкале происходит зимний пик цветения фитопланктона в подлёдном слое, могут наблюдаться состояния гипероксии — перенасыщения воды кислородом, который активно производится этими водорослями. Кислород начинает скапливаться подо льдом, и при таких условиях подлёдная вода в Байкале может насыщаться кислородом даже больше, чем на 100%.

— Как это — больше ста процентов? Разве так бывает?

— Да, перенасыщение кислородом бывает и в некоторых других водоёмах, но масштабы данного процесса именно в Байкале впечатляющие. Сотрудники нашей группы несколько раз выезжали на Байкал и инструментально фиксировали уровни, близкие к 130% насыщения, а, по сообщениям коллег, уровень кислорода может достигать и более 150%. Это происходит подо льдом в мелководьях, когда лёд не даёт возможности уходить лишнему газу в атмосферу, а близость дна не позволяет раствориться кислороду на больших глубинах. Если же сделать лунку в таком месте, то вода начинает пузыриться, как газировка, — это из неё выходит газ.

Кислород необходим для дыхания аэробных организмов, но при повышенной



концентрации он становится токсичным. Это сильнейший окислитель, он разрушает ткани организма, влияет на биохимические циклы, вызывает мутации. Если, например, человека поместить в среду со 100%-м кислородом, он очень быстро почувствует себя плохо. Разовьётся окислительный стресс, когда кислород станет накапливаться в тка-

Разнообразие рачков амфипод в прибрежной зоне.





Гидробиологический облов мелководной прибрежной зоны (верхнего отдела литорали).

нях, внутренних жидкостях и начнёт всё разрушать.

Вы наверняка слышали про кислородную катастрофу в истории Земли, когда появились первые фотосинтезирующие организмы, которые произвели огромное количество кислорода. Планета в те времена была населена фауной анаэробов, а появившийся в большом количестве кислород попросту её уничтожил. Планету заселили аэробы, которые выработали эффективную систему антиоксидантной защиты. Эта антиоксидантная система держит под контролем негативные проявления кислорода и его соединений. Так что кислород — это и добро, и зло, и с этим злом борется антиоксидантная система.

— Получается, что обитатели Байкала, постоянно испытывая окислительный стресс, научились ему противостоять. В чём же причина их жизнестойкости?

— В очень эффективных системах антиоксидантной защиты. Ведь в Байкале есть факторы, которые ещё больше повышают агрессивность и без того насыщенной кислородом байкальской среды.

Так, благодаря чистоте байкальской воды через неё очень хорошо проникает ультрафиолет, который влияет на молекулы растворённого кислорода — возбуждает их, провоцируя образование кислородных радикалов, так называемых активных форм кислорода. Этот процесс происходит как в окружающей среде, так и в самих тканях водных обитателей. Кислородные радикалы крайне негативно влияют на биологические системы, они активно окисляют ткани животных, белки, липиды, нуклеиновые кислоты, вызывая значительные мутагенные процессы. Эти эффекты известны науке, а негативное влияние проникающего в водную среду ультрафиолетового излучения, например, на чистых горных озёрах, фиксируется на глубинах до десяти метров. Применительно к Байкалу это глубины всей литорали, в зоне которых и обитает множество видов. По одной из гипотез, такая агрессивная среда, активные формы кислорода могут стимулировать увеличение количества мутаций (например, у слабо защищённых яиц или эмбрионов гидробионтов), что, в свою очередь, должно вызывать ускорение эволюционного процесса.

— Иначе говоря, байкальские организмы живут в состоянии хронического стресса и прекрасно с ним справляются. Можно ли научиться использовать это чудесное свойство каким-то образом во благо человека?

— Не только можно — нужно использовать, поэтому мы рассматриваем Байкал как источник новых биотехнологических и биомедицинских решений. Если мы поймём, как байкальские организмы успешно справляются с хроническим окислительным стрессом, какие антиоксидантные системы используют, как борются с повышенным уровнем ультрафиолета, который на них постоянно воздействует, то получим материалы для разработки конкретных лекарств и технологий. Например, лекарств против оксидативных повреждений, которые сопровождают практически любые метаболические нарушения, болезни человека и животных.

Или можно погрузиться в тематику старения: ведь в Байкале есть группы видов, например среди наших рачков амфипод, которые живут один-два года, а рядом их ближайшие родственники живут до 10 лет, то есть в 5—10 раз больше. Соответственно, если сравнить их и посмотреть, какие факторы определяют эти различия, то можно многое понять в механизмах старения. Ряд учёных полагает, что старение можно будет лечить как болезнь. Возможно, лекарство от этой болезни когда-нибудь будет найдено именно в Байкале.

Проводимые нами исследования находят на самом первом этапе процесса, который в итоге может приводить и к созданию фармацевтических препаратов. Мы — научные разведчики, поисковики, наша задача — выявление организмов или соединений, которые могут обладать или уже точно обладают полезными свойствами.

Самое очевидное и понятное направление — это поиск соединений с новыми антимикробными свойствами, которые накапливаются в организме либо синтезируются там. У нас уже имеется хороший экспериментальный задел. Несколько групп молодых учёных фокусируются на обнаружении новейших антибиотиков, бактериофагов или антимикробных пеп-

тидов. До промышленной фармацевтики мы ещё не добрались, но новые антибиотики и новые антимикробные пептиды уже нашли.

— И где вы их нашли?

— Специфика экосистемы озера заключается в том, что в этой огромной толще воды есть две неравные зоны. Первая — так называемая фотическая зона, туда проникает свет, благодаря чему происходит цветение мельчайших водорослей и высших водных растений, образуется первое органическое вещество — так называемая первичная продукция. В этой зоне обитает множество организмов, питание которых завязано на эту первичную продукцию. Глубина её максимум 40—50 метров.

Если же мы пойдём глубже, то попадаем в зону сумрака и далее в зону полной тьмы. Это вторая зона — афотическая, куда свет не проникает. Тут нет никаких первичных продуцентов, водорослей или высших растений-макрофитов, питаться почти нечем. Полтора километра крошечной тьмы, без еды и света. Но тем не менее там тоже полно живых организмов. Они питаются тем, что падает сверху, — мусором, мёртвыми организмами. Это глубоководная фауна падальщиков.

Надо понимать, что «от старости» обычно в природе никто не умирает, гибель организма происходит от того, что его съедают либо хищники, либо кто-то изнутри — паразиты, инфекции. Так что всё, что падает на дно, это объедки, экскременты или погибшие животные, инфицированные

Глубоководные рачки облепили приманку в ловушке (приманкой служила рыба).





*Младший научный сотрудник Дмитрий Карнаухов рассматривает глубоководных амфипод рода Акантогаммарус (*Acanthogammarus*).*



*Аспирант Юлия Широкова и объект её исследований — рачки вида эулимногаммарус бородавчатый (*Eulimnogammarus verrucosus*).*

разными бактериями и вирусами, — вирусы такие же части экосистемы, как любой рачок или нерпа.

Донные падальщики выполняют важную роль чистильщиков дна Байкала. Они обитают в условиях, где очень мало пищи, поэтому максимально экономят энергию. Эволюционно у них происходит упрощение многих метаболических процессов. В первую очередь они отказались от базовых механизмов стрессоустойчивости, которые на глубинах не особо нужны: в зоне их обитания всегда одна и та же температура, света нет, уровень растворённого кислорода постоянно одинаковый. Осталась одна проблема: как питаться инфицированной пищей? Самый простой путь — завести себе полезных сожителей, симбионтную микробиоту, то есть бактерий, которые вырабатывают антибиотики. В основном это группа актинобактерий, но есть и другие группы.

Мы с коллегами из Германии и одной из наших молодёжных команд сконцентрировались на поиске новейших актинобактерий, которые живут в этих глубоководных организмах. Логика простая: 2/3 антибиотиков, которые описываются сейчас



Кандидат биологических наук Антон Гурков изучает под микроскопом флуоресценцию иммунных клеток байкальских амфипод.

для фармацевтики, впервые описаны как раз из актинобактерий. Так что это самая вероятная группа. Понятно, что если в Байкале никто никогда ещё не изучал глубоководную фауну симбионтных бактерий, то и антибиотики, которые они вырабатывают, также будут неизвестны науке.

Практически сразу удалось найти этому подтверждение. Были выделены десятки новых штаммов, которые проявляли высокую антимикробную активность. Более того, нам удалось описать новую группу антибиотиков — ангуциклинов, которую мы назвали в честь Байкала — байкаломицинами. Статья об этом вышла в серьёзном международном журнале в 2020 году*.

— А кроме антибиотиков, какие ещё есть биотехнологические перспективы у байкальских эндемиков?

— Например, нас интересуют организмы, которые характеризуются взрывным

массовым развитием. Сейчас у всех на слуху такая проблема, как эвтрофирование, зарастание водорослями отдельных заливов Байкала. В своё время государство не уследило за масштабами застройки берегов, и на Байкале выросли сотни турбаз, разрослись прибрежные населённые пункты и города, а необходимая очистительная инфраструктура построена

Байкальские нитчатые водоросли культивируются для исследований в климатических камерах института.



* Voitsekhovskaia I., Paulus C., Dahlem C., Rebets Y., Nadmid S., Zapp J., Axenov-Gribanov D., Rückert C., Timofeyev M., Kalinowski J., Kiemer A.K., Luzhetskyy A. Baikalomycins A-C, New Aquayamycin-Type Angucyclines Isolated from Lake Baikal Derived Streptomyces sp. IB201691-2A. Microorganisms. 2020 May 7; 8(5): 680.



не была. И теперь все стоки, содержащие массу органики, которую производит человек и домашние животные, поступают в Байкал. В местах поступления этой органики наблюдается взрывное развитие водной растительности, в первую очередь нитчатой водоросли спиригиры. Это серьёзная экологическая проблема.

Но если взглянуть на ситуацию с несколько другого ракурса, то мы увидим, что байкальские водоросли демонстрируют удивительную способность к взрывному массовому развитию и набору водорослевой биомассы при небольших добавках органики в среду культивирования. А это интересно с точки зрения биотехнологического применения.

— Для производства кормов?

— В том числе, ведь во многих азиатских странах ту же спиригору активно используют как кормовую добавку. Вообще, водоросли — один из наиболее перспективных объектов мировой аквакультуры на ближайшее столетие. А у байкальских водорослей есть своё преимущество: их взрывное развитие происходит в холодных водах. Аквакультура водорослей — это огромная, быстро развивающаяся индустрия, но она сосредоточена в районах с тёплым климатом и тёплой водой. В холодной воде обычно ничего особо не культивируешь. При низких температурах всё растёт очень медленно, и экономика таких производств не очень привлекательна.

А вот байкальские водоросли, с их способностью интенсивного роста при холодных байкальских температурах вполне могут быть использованы как объекты промышленного культивирования. И мы уже ставим первые эксперименты в этом направлении.

— Значит, в Байкал будут выливать органику и там культивировать водоросли? Но это же вредно для озера?

— Конечно же, речь об этом не идёт. Культивирование водорослей нужно будет делать в системах замкнутого водоснабжения. Или, например, можно спуститься из Байкала в реку Ангара, поставить системы, запитанные на ангарскую воду. Вода по Ангаре течёт та же, байкальская. Электроэнергия у нас в Иркутской области самая дешёвая в мире, поэтому есть

о чём подумать. Причём о производстве не только кормовых добавок, но и, например, фармацевтических и косметических соединений. Мировая индустрия той же водорослевой косметологии насчитывает сотни миллионов долларов.

— Максим Анатольевич, вы говорили о том, что некоторые байкальские организмы живут даже во льдах и прекрасно выживают при низких температурах, адаптируются к ним. Можно ли это свойство тоже использовать, например, в целях изготовления криоконсервантов, криопротекторов?

— Несомненно, животные часто являются источниками биотехнологических решений. Так, например, разработкой биокриопротекторов успешно занимаются в Якутии. Там взяли насекомых, которые зимуют в тундре при экстремально низких температурах, выделили из них антифризные соединения и создали кремы, защищающие от обморожения.

Конечно же, в Байкале нет организмов, которые живут при экстремально низких температурах. Но зато есть значительное количество организмов, живущих при температуре около нуля. Есть организмы, которые могут развиваться в полостях во льду, в ледовых трещинах, там нулевая температура и фактически дистиллированная вода, потому что при замерзании лёд выталкивает из себя все соли. И в этих полостях организмы живут в условиях очень сильной инсоляции, там развиваются водоросли, туда заползают рачки, которые этими водорослями питаются. Это экстремальные условия для огромного количества организмов, но не для байкальских эндемиков.

— Но почему они не впадают в спячку?

— Мы как раз сейчас пытаемся это понять. Так, в рамках проекта Российского научного фонда мы ведём работы по изучению холодоустойчивых ферментных систем, регулирующих метаболизм. У множества байкальских видов эти системы не просто позволяют выжить в периоды очень низких температур, но поддерживают высокую активность организмов. Байкальские эндемики, те же амфиподы, активно ползают по этому льду, иногда пример-

зают, потом отмерзают и дальше ползут. Способность организмов выживать после замерзания и не терять жизнеспособность тканей — это, конечно, очень интересная область для научного поиска.

Мы сделали только первые шаги. В дальнейшем эти исследования могут помочь в поиске криоконсервантов, механизмов сохранения вакцин, тканей или органов для пересадки, транспортировки, хранения. Даже простых продуктов питания, чтобы они не портились, не теряли своих свойств.

— Вы говорили, что о флоре и фауне Байкала известно ничтожно мало, особенно о глубоководных организмах...

— В Байкале обитает единственная на планете глубоководная пресноводная фауна. Больше нигде ничего подобного нет. Это рыбы, черви, моллюски, разнообразные рачки, очень похожие на представителей глубоководной фауны океанов. Например, множество гигантских форм, некоторые виды крупнее своих сородичей из обычных озёр в несколько десятков раз. На дне Байкала обитают слепые виды с длинными чувствительными антеннами, разнообразные вооружённые формы — с рогами, шипами и длинными щетинками, виды-долгожители и многие, многие другие удивительные создания. Только вся эта фауна ещё и несёт специфику обитания в ультрапресной, очень холодной воде.

Как я уже сказал, в Байкале вода приближена к дистиллированной, и обитающие в ней организмы испытывают сильнейшее осмотическое давление. За счёт низкой плотности в очень пресной воде трудно плавать. А ещё нужно добавить к этим факторам гигантское давление на дне Байкала. Ведь с погружением на каждые 10 метров давление увеличивается на одну атмосферу. На дне в самой глубокой точке Байкала — 1642 метра — давление составит уже 165 атмосфер. Представьте, что испытывают организмы, которые живут в такой среде, где нет нормальной еды, всё время холодно, низкая минерализация и высокое давление, огромная концентрация токсичного кислорода?

Для большинства водных организмов эта среда сверхэкстремальная, крайне

агрессивная для обитания. Но байкальские организмы выжили, приспособились и заняли свою экологическую нишу. Они выработали свои собственные антибиотики, эффективные механизмы антиоксидантной защиты, способность переносить гигантские давления. Некоторые организмы умеют мигрировать в течение суток почти на полкилометра вверх и вниз. При таком перемещении перепад давления составляет 50 атмосфер. Просто космические перегрузки! Ведь давление влияет на все растворённые в воде и тканях газы (например, токсичность кислорода и азота при больших давлениях очень сильно возрастает), на конформацию (то есть пространственную структуру) белковых молекул, на активность ферментов, которые регулируют все процессы в организме. Такие перепады — это серьёзный стрессовый вызов, а некоторые байкальские рачки подобные миграции совершают ежесуточно, прекрасно себя чувствуя.

— А может быть, именно сочетание этих убийственных факторов и делает возможным биоразнообразие Байкала и его удивительные свойства?

— Конечно. Важнейший фактор того, что в Байкале такое богатое биоразнообразие, — это наличие множества ландшафтов для обитания, в первую очередь по глубинам. Ключевой особенностью экосистемы озера Байкал является то, что воды озера насыщены кислородом от береговой линии до самых глубоких мест. Причём даже на большой глубине уровень кислорода не падает ниже 90% насыщения. Среди древних и глубочайших озёр планеты такого нет нигде.

Обычно у глубоких озёр на дне скапливается сероводород, образующий зону, в которой невозможно обитание аэробных организмов. На Байкале этого не происходит, поскольку для озера характерны сильные вертикальные перемещения водных масс — апвеллинги и даунвеллинги. Масштабные процессы перемещения водных масс происходят дважды в год, осенью и весной, когда поверхностные слои воды проходят температурную точку 4°C. Именно при четырёх градусах вода наиболее плотная и соответственно самая

тяжёлая. Поверхностная вода становится тяжелее глубинной, температура которой стабильно 3,4—3,5°C. Тяжёлые поверхностные слои воды начинают опускаться, захватывая с собой весь кислород, который накопился с помощью деятельности водорослей и волнового перемешивания, распространяя кислородную зону до самого дна. А там, где кислород, там и аэробная жизнь.

Благодаря широкому проникновению кислорода по всем глубинам Байкала появились условия для распространения высших организмов, их эволюции и адаптации. Холодная вода, масштабные вертикальные перемешивания, насыщающие все глубины кислородом, — вот главные факторы того, что в Байкале развивалась уникальнейшая, нигде в мире больше не встречающаяся пресноводная глубоководная фауна.

— Известно, что Байкал — древнее озеро, ему больше 25 миллионов лет. А есть ли в нём организмы такого же возраста?

— Есть. Мало того — есть виды, которые по своему возрасту могут быть старше самого Байкала и, возможно, относятся к фауне добайкальского происхождения. Даже сложно представить, какие испытания, климатические и геологические катастрофы переживала эта древняя фауна за миллионы лет существования.

Хотелось бы, чтобы сам Байкал продолжал существовать в своём первозданном виде ещё очень долго. Печально осознавать, что наше общество недооценивает значимость и потенциал Байкала, видя в нём только резервуар питьевой воды, которую можно разлить по бутылкам и продать, или объект для туризма и рыбного промысла.

Между тем у нас с вами неисчерпаемая, единственная на планете, действительно уникальная экосистема. Байкал — это источник глобальных научных открытий, передовых технологических возможностей и ценных продуктов, удивительный водоём, который мы должны ценить, охранять и любить.

Фото предоставлены
НИИ биологии ИГУ.

НАУКА И ЖИЗНЬ

В ЦИФРОВОМ ФОРМАТЕ



TELEGRAM-БОТ
свежий номер
демо-номер журнала
БЕСПЛАТНО
t.me/nkj_bot



ЦИФРОВАЯ ВЕРСИЯ ЖУРНАЛА
РЕДАКЦИОННЫЙ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН:
www.nkj.ru/shop
(подписка и отдельные номера)

Читайте в приложениях для мобильных устройств:
PRESSA.RU • ЛитРес • МТС Библиотека • Kiozk
www.nkj.ru

e-mail: subscribe@nkj.ru

Купить книги и журналы «Наука и жизнь»
теперь можно в наших магазинах на OZON и WILDBERRIES



Самый свежий
номер



Журналы и комплекты
прошлых лет



Книги издательства
«Наука и жизнь»

Покупайте журналы на маркетплейсах со скидкой и быстрой доставкой
в пункты выдачи в России, Беларуси и Казахстане

OZON



WILDBERRIES



Главный редактор Е. А. ЛОЗОВСКАЯ.

Заместители главного редактора: М. А. АБАЕВ, Н. А. ДОМРИНА.

Зав. отделом корректуры и проверки Л. М. БЕЛЮСЕВА.

Редакция: Л. В. БЕРСЕНЕВА, Н. К. ГЕЛЬМИЗА, Т. Ю. ЗИМИНА, З. М. КОРОТКОВА, А. А. ПОНЯТОВ,
Л. А. СИНИЦЫНА, К. В. СТАСЕВИЧ, Ю. М. ФРОЛОВ.

Дизайн и вёрстка: З. А. ФЛОРИНСКАЯ, Т. М. ЧЕРНИКОВА, Т. Б. КАРПУШИНА, М. М. СЛЮСАРЬ.

Заведующая редакцией: Н. В. КЛЕЙМЕНОВА.

Администратор сайта: Т. М. ВАГИНА. Информационное партнёрство: Е. С. ВЕЛИЧКИНА.

Служба распространения: Д. В. ЯНЧУК, тел. (495) 621-09-71. Служба рекламы: Т. В. ВРАЦКАЯ, тел. (915) 108-04-05.

Информация об условиях размещения рекламы: www.nkj.ru/advert/

Адрес редакции: 101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 24/7, стр. 1. Телефон для справок: (495) 624-18-35.

Электронная почта: mail@nkj.ru. Электронная версия журнала: www.nkj.ru

- Ответственность за точность и содержание рекламных материалов несут рекламодатели
- Перепечатка материалов — только с разрешения редакции
- Рукописи не рецензируются и не возвращаются
- Выпуск издания осуществлён при финансовой поддержке Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ

© «Наука и жизнь». 2023.

Учредитель: Автономная некоммерческая организация
«Редакция журнала «Наука и жизнь».

Журнал зарегистрирован в Государственном комитете Российской Федерации
по печати 26 февраля 1999 г. Регистрационный № 01774.

Подписано к печати 26.12.2022. Печать офсетная. Тираж 18100 экз. Заказ № 220917.

Цена договорная. Отпечатано в ООО «Первый полиграфический комбинат».

Адрес: 143405, Московская область, Красногорский район, п/о «Красногорск-5», Ильинское шоссе, 4-й км.

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ
С ЛЮБОГО МЕСЯЦА



НА ПОЧТЕ

Индексы: П1467, П2831



НА САЙТЕ

www.nkj.ru

с доставкой по почте
или с получением в редакции

г. Москва, Мясницкая ул., д. 24/7, стр. 1

5 минут пешком от метро «Тургеневская», «Чистые пруды», «Сретенский бульвар».

С 10.00 до 17.30 по рабочим дням, с 10.00 до 14.00 — по субботам.

Воскресенье — выходной день.



КУПИТЬ ЖУРНАЛ



В редакционном
интернет-магазине

www.nkj.ru/shop/988/

с доставкой Vohberry

или с получением в редакции



TELEGRAM-БОТ

свежий номер в PDF

демо-номер журнала БЕСПЛАТНО

t.me/nkj_bot



В интернет-магазине **Лабиринт**

<https://www.labirint.ru/pubhouse/4814/>



НАУКА И ЖИЗНЬ

Есть вопросы по подписке?

Пишите: subscribe@nkj.ru

Телефон для справок: +7 (495) 624-18-35

НАУКА И ЖИЗНЬ

I

2023



Подписные индексы: П1467, П2831

Фото Андрея Лисицкого